

稻茬地双轴驱动防堵式小麦免耕播种机*

朱惠斌^{1,2} 李洪文¹ 何进¹ 王庆杰¹ 李慧¹ 卢彩云¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 昆明理工大学现代农业工程学院, 昆明 650500)

摘要: 针对稻茬地土壤粘重、根茬量大韧性强的特点和免耕播种作业的要求, 基于旋转部件的铣切、冲击、破碎和抛撒原理, 应用带状旋耕和粉碎技术, 设计了稻茬地双轴驱动防堵式小麦免耕播种机, 一次完成切茬、开沟、防堵、主动覆土和镇压等功能。田间播种性能试验表明, 带状旋耕能较好地完成切茬、开沟作业, 粉碎装置将收集到的土壤进行了有效的二次粉碎和抛撒, 实现了均匀覆土的功能, 播种深度和施肥深度变异系数分别为 4.33% 和 2.73%, 机具的通过性满足农艺要求。

关键词: 免耕播种机 稻茬地 带状旋耕 粉碎 防堵

中图分类号: S223.2⁺6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)06-0039-06

No-till Wheat Seeder with Two-axel Drive Anti-blocking in Rice Stubble Field

Zhu Huibin^{1,2} Li Hongwen¹ He Jin¹ Wang Qingjie¹ Li Hui¹ Lu Caiyun¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: In order to solve the serious problems of clay soil and large amount of rice stubble with strong toughness, a no-till wheat seeder with two-axel drive anti-blocking mechanism was designed to meet the requirements of no-till seeder. Based on the work principle of rotating parts, including milling, impacting, crushing and throwing, the seeder could accomplish stubble chopping, furrow opening, anti-blocking, active covering soil and compacting at one time with strip rotary tillage and crushing technology. The results of field seeding experiments showed that stubble cutting and furrowing could be well finished by strip rotary tillage. The collected soil was effectively chopped twice, so the soil could be well-covered. The variation coefficient of sowing depth and fertilizer depth were 4.33% and 2.73%, respectively. The passing ability of seeder satisfied the agronomic requirements.

Key words: No-till seeder Rice stubble field Strip rotary tillage Crushing Anti-blocking

引言

长江中下游地区是中国重要的稻麦连作主产区, 是中国小麦增产潜力最大的区域, 在保障粮食安全中占有极其重要的地位^[1]。实际生产中多以人工撒播方式为主, 这种粗放式的作业模式严重制约

了保护性耕作技术在稻麦连作区的推广和应用。国内外学者对此也作了大量的研究^[2-7]。稻茬田土壤墒情复杂, 从国外引进的大型播种机因该区域地块小带来下田难的窘境, 而现有的相对比较成熟的驱动圆盘式、条带粉碎式和动力甩刀式等小麦免耕播种机均是根据北方地区的农艺特性而研发的, 无法

收稿日期: 2012-12-25 修回日期: 2013-01-03
* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B08)、国家自然科学基金资助项目(51205398)和公益性行业(农业)科研专项资助项目(200903009)
作者简介: 朱惠斌, 博士生, 昆明理工大学讲师, 主要从事农业机械装备与计算机测控研究, E-mail: hbzhu113@yahoo.com.cn
通讯作者: 李洪文, 教授, 博士生导师, 主要从事保护性耕作和农业装备研究, E-mail: lhwen@cau.edu.cn

实现在土壤粘重、含水率大、根茬量大而韧性强、开沟后不易回土或回土不好等情况下的**高效播种**^[8-11]。因此,研制能适应稻茬地的小麦免耕播种机已成为亟待解决的问题。

针对上述关键问题,本文基于工作部件在高速旋转下的**铣切、冲击、破碎和抛撒原理**,应用带状旋耕和粉碎技术,进行稻茬地双轴驱动防堵式小麦免耕播种机的设计,并进行田间播种试验。

1 整体设计

1.1 整机结构

稻茬地双轴驱动防堵式小麦免耕播种机的整机结构如图 1 所示。主要由机架、破茬开沟器、二次粉碎装置、侧传动装置、播种施肥装置和镇压器等组成,其中侧传动装置、破茬开沟器、播种施肥装置和二次粉碎装置固定于机架上。机架包括三点悬挂装置、梁体和限深轮;破茬开沟器包括畦沟开沟铲、带状旋耕刀、刀轴和刀轴支撑座,旋耕刀轴中部与传动装置相连,为中间传动方式;二次粉碎装置包括土壤弧形筛、导土板、粉碎甩刀和粉碎刀轴,粉碎刀轴固定于机架侧板且与传动装置相连;播种施肥装置中的播种机构采用双列螺旋窝眼式排种器进行宽幅精量播种,施肥装置采用外槽轮式排种器,其通过链传动与对行整体镇压器相连接,以实现同步播种。一次完成在稻茬地开沟、施肥、播种、覆土和镇压等作业,其主要技术参数如表 1 所示。

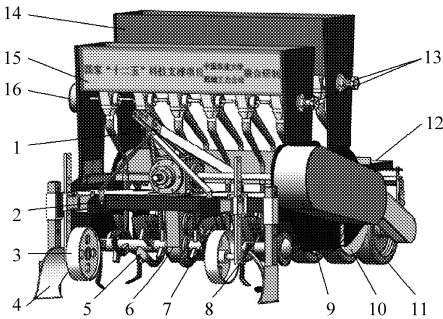


图 1 双轴驱动防堵式小麦免耕播种机结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of no-till wheat seeder with two-axel drive anti-blocking

1. 三点悬挂装置 2. 机架 3. 限深轮 4. 畦沟开沟器 5. 破茬开沟器 6. 变速箱 7. 粉碎装置 8. 施肥管 9. 侧传动装置 10. 双圆盘种沟开沟器 11. 镇压器 12. 踏板 13. 种肥量调节手轮 14. 种箱 15. 肥箱 16. 种肥传动装置

1.2 工作原理

稻茬地双轴驱动防堵式小麦免耕播种机主要是针对稻茬地免耕播种小麦的地区而设计。采用双轴驱动式防堵工作原理,即带状旋耕方式进行破茬开沟与粉碎甩刀二次击打抛撒相结合(图 2)。在稻茬

表 1 主要技术参数

Tab.1 Main technical parameters

参数	数值
外形尺寸(长×宽×高) /mm×mm×mm	1 950×1 800×1 300
质量/kg	700
工作幅宽/m	1.8
工作行距/mm	20/25
工作行数	6
畦沟宽度/mm	30
畦沟开沟器形式	芯铰式开沟器
排种器形式	螺旋窝眼式
排种器数量/个	12
种沟开沟器形式	双圆盘开沟器
排肥器形式	外槽轮式
排肥器数量/个	6
下种施肥量调节方式	手轮调节
排种施肥动力传递方式	镇压轮+链传动
镇压器形式	对行整体镇压装置
防堵方式	双轴驱动式
防堵动力的传递方式	变速箱与三角带
覆土方式	主动覆土

地播种时,首先由旋耕刀切茬开沟,被切削的根茬和土壤在旋耕刀的继续回转下向后抛出,被置于其后的弧形筛收集,再次被粉碎甩刀二次作业,粉碎后的土壤从弧形筛的筛孔落下,被有序地撒落于所开的种沟内,给种子覆盖上满足其发芽生长的细碎土壤,而未被粉碎的较大稻茬、秸秆和土块,在粉碎甩刀的作用下抛向机外,落于地面。

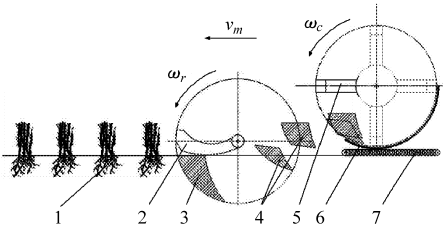


图 2 工作原理示意图

Fig.2 Illustration of working principle

1. 稻茬地 2. 旋耕刀 3. 被切削土壤 4. 被抛土壤 5. 二次粉碎甩刀 6. 弧形筛 7. 粉碎过筛后的土壤

2 关键部件的设计

2.1 双轴驱动式防堵部件

前轴采用变速箱中央传动方式带动带状旋耕刀轴转动,实现种床的破茬开沟作业。根据文献[12]可知,在含水率为 20%~30% 的稻田里,切土节距 S 为 6~12 cm 时,耕作质量即满足种麦要求。考虑土壤含水率因地理位置的不同而存在较大的差异性,本设计中采用国标 II 型 245 旋耕刀,取切土节距 S 为 7 cm。

后轴利用变速箱侧传动和胶带传动相结合的方式带动二次粉碎刀轴旋转,以达到进一步粉碎由带状旋耕刀所抛撒的土堡和根茬。因二次粉碎甩刀仅对苗带处的土壤和根茬进行处理,不直接入土,所以采用贴地正转的方式,刀具不入土切削土壤,只是利用旋转时甩刀所产生的离心力来粉碎和打击弧形筛所收集到的土壤和部分根茬。粉碎刀轴采用 $\phi 140$ mm 的空心管轴,甩刀由销子固接在粉碎刀轴的刀座上,故刀座的合理排列是设计二次粉碎刀辊的关键。因稻茬地土壤粘重、稻茬量大而柔韧,在二次粉碎时主要以打击为主,切断为辅,故一组甩刀由 1 片直刀型和 4 片 L 型刀组成,通过销子与刀座相连,共有 7 组 35 片甩刀,刀片数目较多,故采用双螺旋线左右对称排列(图 3)。粉碎甩刀密度为

$$C = z/l \quad (1)$$

式中 C ——粉碎甩刀密度,片/cm

z ——甩刀数量,取 35

l ——机具播种宽度,取 150 cm

计算得 0.233 片/cm,符合甩刀最佳范围 0.20 ~ 0.40 片/cm^[13]。

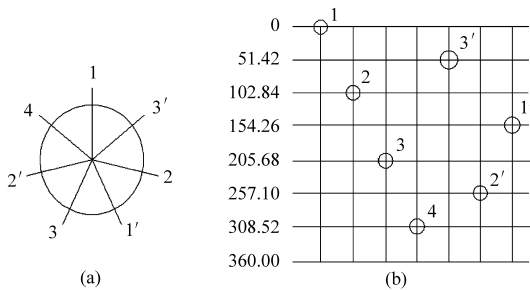


图 3 二次粉碎刀座排列图

Fig. 3 Arrangement of knife seats

(a) 轴端图 (b) 展开图

此种排列方式不仅能提高粉碎质量,还可使刀座的轴向间距和周向间角均相等,刀轴负荷均匀,从而保证了静平衡。在工作过程中按螺旋线相对排列的每两组粉碎刀片沿中心截面基本对称,这样刀轴受力均匀,动力消耗小,利用 KD-03A 型动平衡测量系统对该二次粉碎刀辊进行了动平衡测试,满足 G100(即两端轴头的左、右量值均小于 100 g)的要求。

2.2 双轴驱动防堵原理

2.2.1 前轴旋切抛土分析

前轴防堵方式为带状旋耕,主要利用旋耕刀来开设种沟,由刀片的正切刃和侧切刃将切削下来的土壤在继续回转的作用下被抛送至后方。开种沟时,土壤对旋耕刀产生切削阻力,该阻力为刀刃所作用土壤的弹性、塑性和其他变形力以及其间相互作用的摩擦力等的合成,切削阻力的大小和方向与开

沟方法、工作部件的几何形状、运动特点、土壤性质及工作参数有关。其运动过程如图 4 所示。

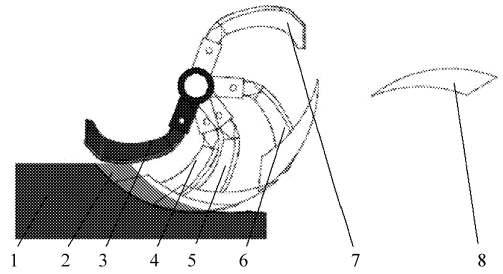


图 4 带状旋耕工作原理示意图

Fig. 4 Working principle of strip rotary tillage

1. 种床 2. 被切削的土壤 3. 切削起始位置 4. 切削 5. 运土 6. 抛土 7. 空转 8. 被抛土壤

为近似求解土堡被抛的关系,作如下假设^[14]:

①土堡被切开后脱离工作部件时,其运动速度为刀速和机组前进速度的矢量和。②土堡运动轨迹为一连续曲线。③土堡运动速度从开始运动到最后离开刀片时是不断连续变化的。④所考察的土堡的运动和相邻土壤的运动无关。

基于上述假设,土堡在刀片正切面上受到重力 G 、摩擦力 F_f 、正切面的支持力 N 、离心力 F_c 、科氏力 F_k 等的联合作用。受力分析如图 5 所示,各力计算公式如下

$$\begin{cases} G = mg \\ F_f = \mu N \\ F_c = mr_x \omega^2 \\ F_k = mv'_m + mr_x \omega^2 \end{cases} \quad (2)$$

$$\omega = 2\pi n$$

其中

式中 m ——土堡质量,本设计中切土节距为

70 mm,耕深为 100 mm,旋耕弯刀宽为 40 mm,则土堡质量为 200 g 左右(土壤容积密度为 1.1 ~ 1.6 g/cm³)

g ——重力加速度, m/s²

μ ——土壤与旋耕刀材料的摩擦因数,根据文献[15],粘性土壤与 65Mn 之间摩擦角为 20° ~ 50°,本设计中按最大值计算

r_x ——旋耕刀尖回转半径,取 245 mm

ω ——旋耕刀旋转角速度, rad/s

n ——旋耕刀转速,取 230 r/min

v_m ——机组前进速度,取 0.5 ~ 1.0 m/s

2.2.2 后轴碎土分析

旋耕刀轴与粉碎刀辊中心位置的确定,如图 6 所示。旋耕刀轴与粉碎刀辊在垂直方向的高度差 H 和水平方向距离 L 是该机具设计的 2 个重要参数。

H 与两轴的回转半径、旋耕深度和碎土深度有

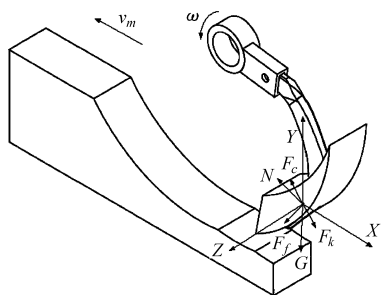


图5 土堡受力分析示意图

Fig. 5 Schematic diagram of force analysis of soil

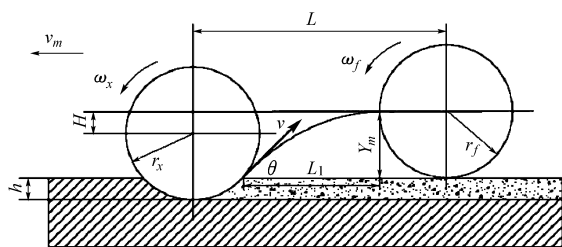


图6 土堡抛撒示意图

Fig. 6 Schematic diagram of soil throwing

关,即

$$H = r_f - (r_x - h) \quad (3)$$

式中 H ——两轴垂直方向的高度差, mm

r_f ——粉碎刀辊回转半径, 取 265 mm

h ——旋耕耕深, 取 100 mm

由此可知两轴在垂直方向的高度差 H 为 120 mm。

两刀辊水平间距 L 的设计对机器的结构和作业性能有着重要的影响。 L 过大使机器总体长度增加, 进而对机架的强度要求提高, 并且会增加拖拉机悬挂装置的负荷; L 过小使两刀辊工作相互影响, 使秸秆缠绕、堵塞刀轴的可能性增加, 从而影响土壤的粉碎效果。所以应在满足工作性能要求的前提下, 尽可能减小 L , 其计算式为

$$L = \sqrt{r_x^2 - (r_x - h)^2} + L_1 + r_f \quad (4)$$

式中 L_1 ——旋耕刀所抛土堡允许的最远行程, mm

因旋耕刀所抛土堡作斜上抛运动, 在忽略空气阻力的情况下, L_1 计算式为

$$L_1 = \frac{v^2 \sin 2\theta}{2g} \quad (5)$$

式中 v ——土堡被抛出瞬间的初速度

θ ——土堡被抛出瞬间的初速度 v 与地面所夹锐角

初速度 v 是由旋耕刀轴在该点的切线速度和机具前进速度的合成, θ 可由斜上抛运动射高 Y_m 来确定。根据分析, 射高应小于等于粉碎刀辊的半径, 即

$$Y_m = \frac{v^2 \sin^2 \theta}{2g} = r_f \quad (6)$$

合成运动速度 v 约为 3.0 m/s, 则由式 (4) ~ (6) 可知前、后两刀辊之间的距离最小为 890 mm。

2.3 螺旋窝眼轮式排种器

2.3.1 排种器结构

窝眼轮式排种器是精量播种方式的主要排种器之一^[16], 用等间距的窝眼作为充种型孔, 在种箱内周而复始的旋转中, 把单粒种子从群体中分离并充入型孔, 利用螺旋排列的窝眼使排种器在投种过程中无脉动现象, 形成等距均匀的种子流, 完成播种作业, 其结构如图 7 所示。

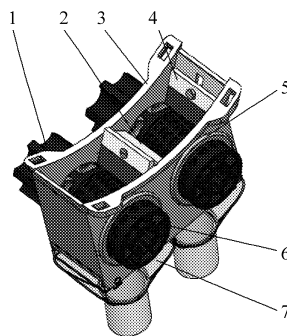


图7 螺旋窝眼轮式排种器示意图

Fig. 7 Schematic diagram of seed metering device

1. 槽轮 2. 护种板 3. 外壳 4. 清种毛刷 5. 挡圈 6. 窝眼轮 7. 接料斗

该排种器螺旋排列 14 行, 螺旋角为 12° , 每行 8 列窝眼, 因小麦种子为椭球形或纺锤形, 所以窝眼为近似椭圆形, 即中间为长方体, 两端为 $1/4$ 个球形, 且每个窝眼最长处为 9 mm, 宽 5 mm, 深 2.5 mm。

2.3.2 排种器性能试验

对同一种排种器位于不同行作业时, 应对每一行的排种量进行测定。试验时种箱内的种子应不少于箱容积的四分之一, 将播种机架起, 使镇压轮轮缘离开地面, 机架应基本处于水平状态, 按常用作业速度旋转驱动轮, 其回转圈数以 20 圈为一次测试, 分别接取各行排种器排出的种子, 称其质量, 称量精度 0.01 g, 重复 3 次, 求平均数和标准差, 计算其各行排种量一致性变异系数和总排种量一致性变异系数, 测试结果如表 2 所示。

由表 2 可知: 各行排种量一致性变异系数的均值为 1.05%, 小于标准值 3.10%; 总排种量一致性变异系数为 0.21%, 小于标准值 1.3%。另外, 从每次排种试验中随机数取 100 粒种子, 重复 10 次, 得排种器作业时所造成的种子破碎率为 0.3%, 小于标准值 0.5%, 符合当地农艺要求。

3 田间播种试验与结果分析

3.1 试验地情况

2012 年 11 月在湖北省团风县长盛农机专业合

表 2 排种器排种性能
Tab.2 Performance of seed metering device

参数	排种器序号						标准值
	1	2	3	4	5	6	
排种测试第 1 次/g	101. 27	97. 43	91. 76	99. 60	99. 16	94. 50	
排种测试第 2 次/g	100. 97	95. 65	90. 82	99. 56	99. 67	96. 55	
排种测试第 3 次/g	102. 84	95. 47	93. 66	99. 99	97. 36	96. 17	
均值/g	101. 69	96. 18	92. 08	99. 71	98. 73	95. 74	
标准差/g	1. 01	1. 08	1. 45	0. 24	1. 21	1. 09	
各行排种量一致性变异系数/%	0. 99	1. 13	1. 57	0. 24	1. 23	1. 14	≤3. 10
总排种量一致性变异系数/%			0. 21				≤1. 30

注:标准值按国家标准(GB/T 20865—2007)《免耕施肥播种机》,下同。

作社的试验田进行了稻茬地免耕小麦播种的试验。根据当地农艺要求,若进行双季稻种植时,留茬高度为 50 cm;若进行稻麦连作,留茬高度为 25 cm。试验地稻茬高度为 23 ~ 28 cm,试验田黏粒含量为 22. 36%,在 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 处的坚实度分别为 0. 76、1. 78 和 2. 42 MPa,含水率分别为 34. 75%、30. 27% 和 25. 95%,容积密度分别为 1. 13、1. 38 和 1. 62 g/cm³。试验用小麦品种为郑麦 9023 号,播种量为 225 kg/hm²,小麦发芽率为 95%,小麦千粒质量为 45. 27 g,含水率为 12. 5%。试验用肥料为复合肥,氮、磷、钾质量比为 1:1:1,施肥量为 360 kg/hm²。拖拉机型号为江苏清江 654,播种时行驶速度为 1 m/s。

3.2 试验方法

按国家标准 GB/T 20865—2007《免耕施肥播种机》规定的方法和农业部农机试验鉴定总站的《免耕播种机选型试验大纲》对小麦免耕播种机播种质量的检测指标进行测试。试验测试内容主要包括播种质量、种肥覆土状况、出苗情况和机具通过性等,检测设备包括电子秤、土壤硬度计、游标卡尺、秒表、卷尺和铁锹等。

3.2.1 种肥深度

拖拉机以正常作业速度播种后,随机取 6 行,每行在 50 m 内随机取 20 个点,人工扒开土层进行播种深度和施肥深度的测量,并记录测试数据。

3.2.2 机具通过性

根据《免耕播种机选型试验大纲》和小麦免耕播种机性能检测项目与检测方法,测区长度不得小于 60 m,往返一个行程不发生堵塞或者有一次轻度堵塞,即视为合格。本试验在稻茬地表状况下进行了 3 次测试。

3.3 试验结果与分析

3.3.1 种肥深度

破茬、碎土、抛撒在留茬地作业后进行种子、肥料覆土深度测定,对测量值取平均值后如表 3 所示。

表 3 留茬地种、肥覆土深度
Tab.3 Depth of seed and fertilizer under stubble-field

项目	平均播深/cm		合格率/%		标准差 /cm	变异系 数/%
	实测值	标准值	实测值	标准值		
种子	2. 6	2 ~ 5	91. 47	≥80	0. 11	4. 33
肥料	7. 6	6 ~ 10	95. 42	≥80	0. 21	2. 73
种肥垂直间距	5. 1	3 ~ 5	91. 17	≥90	0. 04	4. 72

由表 3 可以看出,在留茬地进行小麦播种作业的质量完全满足免耕施肥播种的农艺要求,种肥平均深度的变异系数分别为 4. 33% 和 2. 73%。因肥料为垂直深施,种肥垂直间距变异系数为 4. 72%。种深的变异系数相对大于肥深的变异系数,这是由于肥料直接落入沟底,施肥深度只与开沟深度有关,而在播种时,播深同时要受开沟深度和二次粉碎后主动覆土量 2 个因素的影响。

3.3.2 机具通过性

本设计应用开沟和切茬性能较好的带状旋耕方式,将旋耕刀切削后抛的土壤经二次粉碎装置进一步打击粉碎后通过弧形筛主动覆盖在种床上。在稻茬地进行了 3 次测试,机具通过性良好。

4 结论

(1)双轴驱动式小麦免耕机械化播种技术集成度高,简化了作业程序,减少了机具下地作业次数,减轻了劳动用量,降低了劳动成本,赢得了农时。

(2)稻茬地双轴驱动防堵式小麦免耕播种机采用带状旋耕和二次粉碎相结合的防堵方式,应用主动覆土技术,一次完成开沟、施肥、播种、覆土和镇压等作业,而且满足种床对覆土均匀细碎的要求,能够用于稻麦连作区留茬地免耕播种小麦。

(3)在稻茬地的试验结果表明,平均播种深度 2. 6 cm,变异系数 4. 33%;施肥深度 7. 6 cm,变异系数 2. 73%,种肥垂直间距 5. 1 cm,变异系数 4. 72%,机具通过性好,播种质量满足当地小麦免耕施肥播种的农艺要求。

参 考 文 献

- 1 马力, 杨林章, 沈明星, 等. 基于长期定位试验的典型稻麦轮作区作物产量稳定性研究[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 117 ~ 124.
Ma Li, Yang Linzhang, Shen Mingxing, et al. Study on crop yield stability in a typical region of rice-wheat rotation based on long-term fertilization experiment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(4): 117 ~ 124. (in Chinese)
- 2 Gathala M K, Kumar V, Kumar V, et al. Happy seeder technology: a solution for residue management for the sustainability and improved production of the rice-wheat system of the Indo-Gangetic plains[C] // 5th World Congress on Conservation Agriculture, Brisbane, Australia, 2011.
- 3 Sidhu H S, Singh M, Humphreys E, et al. The happy seeder enables direct drilling of wheat into rice stubble[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2007, 47(7): 844 ~ 854.
- 4 Kienzler K M, Lamers J P, McDonald A, et al. Conservation agriculture in central Asia-what do we know and where do we go from here? [J]. Field Crops Research, 2012, 132(Supp. 1): 95 ~ 105.
- 5 Sidhu H S, Manpreet-Singh, Humphreys E, et al. The happy seeder enables direct drilling of wheat into rice stubble[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2007, 47(7): 844 ~ 854.
- 6 高焕文, 何明, 蒋金琳, 等. 保护性耕作机械化种植模式与播量试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(8): 42 ~ 45.
Gao Huanwen, He Ming, Jiang Jinlin, et al. Experiment of mechanized planting mode and sowing rate for conservation tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(8): 42 ~ 45. (in Chinese)
- 7 范旭辉, 贾洪雷, 张伟汉, 等. 免耕播种机仿形爪式防堵清茬机构参数分析[J]. 农业机械学报, 2011, 42(10): 56 ~ 60.
Fan Xuhui, Jia Honglei, Zhang Weihang, et al. Parametric analysis of finger-type anti-blocking residue-cleaner for no-till planting[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(10): 56 ~ 60. (in Chinese)
- 8 高焕文, 李洪文, 李问盈. 保护性耕作的发展[J]. 农业机械学报, 2008, 39(9): 43 ~ 48.
Gao Huanwen, Li Hongwen, Li Wenying. Development of conservation tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9): 43 ~ 48. (in Chinese)
- 9 王庆杰, 何进, 姚宗路, 等. 驱动圆盘玉米垄作免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6): 68 ~ 72.
Wang Qingjie, He Jin, Yao Zonglu, et al. Design and experiment on powered disc no-tillage planter for ridge-tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6): 68 ~ 72. (in Chinese)
- 10 姚宗路, 李洪文, 高焕文, 等. 一年两熟区玉米覆盖地小麦免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8): 57 ~ 61.
Yao Zonglu, Li Hongwen, Gao Huanwen, et al. Experiment on no-till wheat planter under the bestow of the maize stubble in double cropping area[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8): 57 ~ 61. (in Chinese)
- 11 何进, 李洪文, 王庆杰, 等. 动力甩刀式小麦固定垄免耕播种机[J]. 农业机械学报, 2011, 42(10): 51 ~ 55, 67.
He Jin, Li Hongwen, Wang Qingjie, et al. Powered hammering blade no-till wheat seeder for permanent raised beds[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(10): 51 ~ 55, 67. (in Chinese)
- 12 周宏明, 薛伟, 桑正中. 旋耕机总体参数的优化设计模型[J]. 农业机械学报, 2001, 32(5): 37 ~ 39, 43.
Zhou Hongming, Xue Wei, Sang Zhengzhong. Optimized design model for general parameters of a rotary tiller[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(5): 37 ~ 39, 43. (in Chinese)
- 13 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- 14 吴明亮, 官春云, 汤楚宙, 等. 2BYF-6 型油菜免耕直播联合播种机田间试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 172 ~ 175.
Wu Mingliang, Guan Chunyun, Tang Chuzhou, et al. Experimental research on 2BYF-6 type no-tillage rape combine seeder in paddy stubble field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(11): 172 ~ 175. (in Chinese)
- 15 罗海峰, 官春云, 汤楚宙, 等. 稻茬田油菜免耕播种机开沟部件的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 153 ~ 157.
Luo Haifeng, Guan Chunyun, Tang Chuzhou, et al. Ditching parts of no-tillage sower in paddy stubble field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(11): 153 ~ 157. (in Chinese)
- 16 Karayel D. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean[J]. Soil & Tillage Research, 2009, 104(1): 121 ~ 125.